

지하철배열 이용 시스템의 경제성 평가

이철구*[†], 김종대**, 임태순**, 방승기***, 함홍돈****
*세명대학교 건축공학과, **계룡건설산업(주), ***경민대학 건축인테리어과,
****대원대학 건축인테리어계열

Feasibility study on waste heat utilization system in subway

Chulgoo Lee*[†], Jongdae Kim**, Taesoon Im**,
Seungki Pang***, Heungdon Ham****

*Department of Architectural Engineering, Semyung University, ** Kyeryong Construction Industrial,
*** Department of Architecture, Kyungmin University,
**** Department of Architecture and Interior, Daewon University

Abstract

Feasibility study on energy saving system by utilizing exhausted heat from subway, which is one of the unused energy, was carried out. General heat source system using absorption chiller-heater was used for comparing to the energy saving system, and payback period method using initial cost and running cost of two systems, was used to perform economic estimation. Payback period was about ten years, and this period might be shortened if nation's economic support enact.

Key words : Exhausted heat from subway(지하철배열), Renewable energy(신재생에너지), Feasibility study(경제성 평가), Payback period(회수기간), Initial cost(초기투자비), Running cost(운전비)

기 호 설 명

1. 서 론

- COP_H : 난방 시 성적계수
- c_p : 공기의 정압비열 [kJ/kg°C]
- P : 투자비 회수기간 [년]
- Q : 환기탑에서의 풍량 [m³/h]
- q : 배열회수량 [kW]
- γ : 공기의 비중 [kg/m³]
- Δt : 환기탑에서의 입출구 온도차 [°C]

선진국을 중심으로 시작된 신재생에너지의 개발 및 적용의 활성화는 우리나라에서도 피할 수 없는 시대적 과제가 되었으며, 우리 정부도 에너지 수급상황 개선 및 지구환경의 보호 등을 위해 신재생에너지의 보급 확대를 적극 추진하고 있다.

지하철로부터의 배열은 하천수, 해수, 하수 등과 같은 온도차 에너지로 정의할 수 있는데, 다른 신재생에너지원에 비해 열취득량 또는 열회수량이 많지 않은 편이어서 상대적으로 연구가 초보적인 단계에 머물고 있으며, 그에 따라 관련 업계에서도 이에 대한 제품 및 시스템 개발이 활발하지 않은 편인데, 기존의 연구로는 김종렬 등^{1, 2)}이 시뮬레이션 수법을 이용하여 지하철배열을 이용할 경

[†] Corresponding author
Tel : +82-43-649-1421, fax : +82-43-649-1755
E-mail: lcg123@semyung.ac.kr
접수일 : 2011년 4월 25일
심사일 : 2011년 4월 27일
채택일 : 2011년 5월 11일

우의 에너지절약량에 대해 검토한 것이 있다.

그러나 기존 에너지원의 가격 상승 및 기기 효율의 향상 등이 지속적으로 이루어지고 있으며, 또 도심에서 용이하게 활용할 수 있다는 장점으로 인해 지하철 배열도 향후 의미 있는 에너지원으로서의 활용이 이루어질 것으로 예상된다.

이철구^[3]는 일본의 대표적인 열섬(Heat Island) 지역 중 하나인 지하철 半藏門線(Hanzomon Line) 大手町(Otemachi)역을 중심으로 좌우에 걸친 약 1 km의 터널을 대상으로, 터널 내 83개소의 공기 온습도, 노점온도, 벽면온도, 풍속, 지중온도 등을 측정하여 터널의 연간 온열 실태를 조사하였다. 본 연구에서는 이 실측조사를 바탕으로, 국내의 지하철공간 열환경도 이와 유사하다는 가정하에 현재의 에너지원 가격과 시스템 공사비 및 운전비를 적용해서 지하철배열 이용에 대한 경제성을 평가하고자 한다.

2. 조건 설정

2.1 배열회수방식

측정이 이루어진 半藏門線(Hanzomon Line) 大手町(Otemachi)역의 환기방식은 승강장 부분에서 공조기에 의한 급기, 터널 부분에서 배기팬에 의한 기계환기이다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 환기탑(배기탑)에서 배열을 회수하는 방식을 적용했으며, 이와 같은 방식은 서론에서도 언급한 지하철배열 이용에 관한 국내의 기존연구에서도 적용했던 것과 유사하다^[1, 2].

2.2 배열회수량

1년간의 실측데이터에 의해 배기온도는 배기팬이 가동하고 있을 때를 기준으로 하기 29℃(7~8월 평균값), 중간기 25℃(5월 평균값), 동기 22℃(1~2월 평균값)로 설정할 수 있으나, 지하철에서의 배열을 특히 효과적으로 이용할 수 있는 것은 난방 때이므로 본 연구에서는 난방이 이루어지는 시기를 기준으로 하여 그 기간을 11월~3월로 하였으며, 이때의 배기온도는 평균 23℃이었다.

냉방이 필요한 여름철이나 중간기의 경우 환기

탑에서 열회수되어 냉각된 공기를 역사 내에 재순환시켜 역사의 냉방을 도모함과 동시에 수요처에는 급탕용 온수의 공급이 가능하므로 냉방기 또한 지하철에서의 배열을 효과적으로 이용할 수 있으나, 이것을 고려하기 위해서는 지하철 운전패턴을 염두에 두어야 하는 등 많은 복잡한 요소가 관계되므로 본 연구에서는 생략하기로 한다. 따라서 실제로는 본 연구에서의 도출 결과보다 더 좋은 결과가 나올 수 있다.

풍속은 기존의 측정으로부터 大手濠(Otebori) 환기탑에서 11 m/s, 常盤橋(Zyobanbashi) 환기탑에서 8 m/s가 산정되었고, 이 풍속과 환기탑의 단면적(大手濠 12.82 m², 常盤橋 6.22 m²)을 곱해 약 686,800 m³/h의 풍량이 산정되었다. 이상의 데이터와 함께, 환기탑에서의 입출구 공기온도차를 8℃(23℃→15℃)로, 또 배기로부터의 열을 증발기에서 100% 환수한다고 가정해 환기탑에서의 배열회수량을 산정한 결과 그 값은 3,610 kW가 되었다.

Table 1에 배열회수량의 산정과정을 나타낸다. Table 1에서 증발기 용량은 다음의 식 (1)과 같이 계산되었으며, 필요동력 및 난방 시 COP는 시판되고 있는 각종 공기열원 열펌프의 평균적인 값을 적용하였다.

$$\begin{aligned} q &= Q \times \gamma \times c_p \times \Delta t & (1) \\ &= 686,800 \times 1.2 \times 1 \times 8 \\ &= 6,593,280 \text{ [kJ/h]} \approx 1,830 \text{ [kW]} \end{aligned}$$

Table 1. The amount of heat recovery from exhausted air at ventilation tower

Air volume	Evaporator capacity	Power requirement	COP _H	Condenser capacity (Amount of heat recovery)
686,800 m ³ /h	1,830 kW	656 kW	5.5	3,610 kW

한편, 열펌프 및 흡수식냉온수기에서 제조되는 온수량은 공급수와 환수와의 온도차를 5℃라 하여 산정하였으며, 또 흡수식냉온수기에서의 냉각수 수량은 공급수와 환수와의 온도차를 5℃로 하여 산정하였다.

2.3 수요처의 부하

본 연구에서 대상으로 할 수 있는 수요처로는, 지하철 역사와 인접해 있는 경우가 많은 백화점(상업시설)이나 호텔(숙박시설) 등이 있으나, 어떤 용도든 난방부하의 앞에서 제시한 배열회수량으로 감당할 수 있는 것으로 하였다. 이 경우 백화점이라면 40,000 m², 호텔이라면 33,000 m²가 대략적으로 해당된다^[4]. 한편 건물높이는 7~8층에 해당하는 30m로 가정하여 펌프의 용량 계산에 적용하기로 하였다.

3. 시스템 개요

지하철배열 이용 시스템의 구성에는 다양한 요인이 관계될 수 있으나, 실태조사의 데이터에 의거해서 지하철배열 이용의 효과가 극대화될 수 있는 공기열원 열펌프를 적용한 시스템으로 하였다. 한편 지하철배열 이용 시스템의 경제성 평가를 위한 비교대상 시스템으로는 일반적 열원시스템으로 많이 적용되는 도시가스 이용 흡수식냉온수기 시스템을 선정하였다. Fig. 2에 지하철배열 이용 시스템의 구성을, Fig. 3에 일반적 열원시스템의 구성을 각각 나타낸다. Fig. 2 및 Fig. 3에 나타나 있듯이, 지하철배열 이용 시스템에서는 환

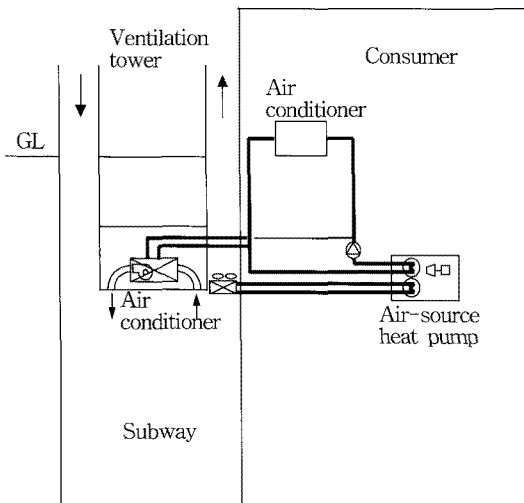


Fig. 2 Concept diagram of utilizing waste heat system in subway.

기탑에서의 배열로부터 열을 회수하여 수요처의 난방에 이용하고, 여름에는 외기를 이용하여 수요처를 냉방하기로 하며, 일반적 열원시스템에서는 흡수식냉온수기로 수요처의 냉난방을 행하는 것으로 한다. 두 방식에 대한 열원기기 부분에서의 시스템 흐름도를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내며, 건설비 산정은 이 흐름도의 범위 즉 1차측 범위로 한다.

4. 초기투자비 산정

초기투자비 구성항목은 기기비와 공사비로 하였으며, 앞서 언급했듯이 초기투자비 산정은 Fig. 4 및 Fig. 5의 범위 내로 한다. 각 기기별 대수는 부분부하 운전 및 실제 시판되고 있는 제품의 용량 등을 고려하여 적용했으며, 기기비와 공사비의 데이터는 물가정보자료 및 업체로부터의 자문을 참고로 하여 결정하였다. Table 2와 Table 3에 두 시스템의 초기투자비 산정결과를 나타낸다. Table에서 열펌프 용량은 Table 1에서 나타낸 바와 같고, 펌프 용량은 앞에서 상정한 순환수량과 양정을 고려하여 계산하였다.

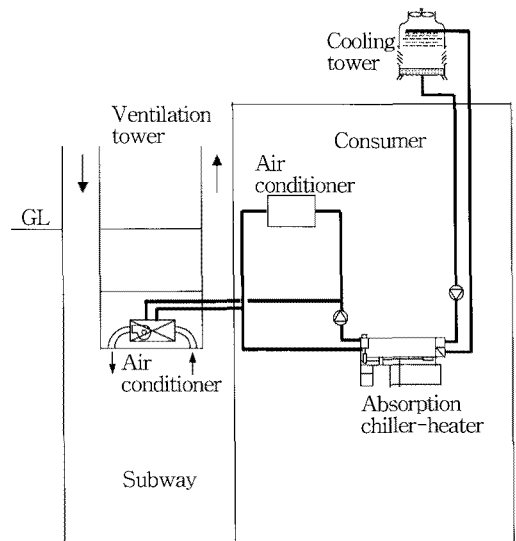


Fig. 3 Concept diagram of general heat source system.

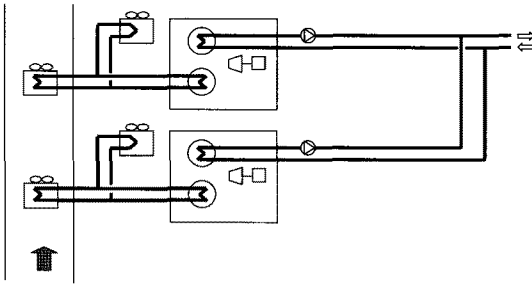


Fig. 4. Schematic diagram of heat source part on waste heat utilizing system.

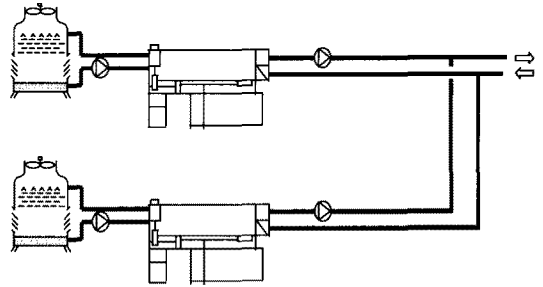


Fig. 5. Schematic diagram of heat source part on general heat source system

Table 2. Initial cost of waste heat utilizing system

Categories		Each capacity and quantity	Unit price (1,000 won)	Price (1,000 won)
Equip. cost	(1) Air-source heat pump	530 kW×7	170,200	1,191,400
	(2) Hot and cold water pump	9 kW×8	2,160	17,280
	(3) Equipment related construction	-	{(1)+(2)} × 0.25	302,170
Const. cost	(4) Pipe	-	-	67,000
	(5) Automatic control	-	{(1)~(4)} × 0.15	55,470
	(6) Electricity	40% of pipe	-	26,800
	(7) Other expenses	-	{(1)~(6)} × 0.1	166,010
Total		-	-	1,826,130

Table 3. Initial cost of general heat source system

Categories		Each capacity and quantity	Unit price (1,000 won)	Price (1,000 won)	
Equip. cost	(1) Absorption chiller-heater	515 RT×2	192,000	384,000	
	(2) Cooling tower	900 RT×2	58,500	117,000	
	(3) Pump	Hot and chilled water	21 kW×3	5,950	17,850
		Cooling water	25 kW×3	8,220	24,660
(4) Equipment related construction		-	{(1)~(3)} × 0.25	135,880	
Const. cost	(5) Pipe	-	-	101,910	
	(6) Automatic control	-	{(1)~(5)} × 0.15	117,200	
	(7) Electricity	40% of pipe	-	40,760	
	(8) Other expenses	-	{(1)~(7)} × 0.1	93,930	
Total		-	-	1,033,190	

5. 연간 운전비

5.1 운전비 산정방법

연간 운전비를 산정하기 위해 연간 에너지사용량을 추정할 필요가 있는데, 연간의 부하에 대한 자료는 국내의 공히 매우 부족하며, 각 자료 또한 일관성이 없는 것이 현 실정이다. 따라서 본 연구에서는 일본의 공기조화위생공학회에서 제시하고 있는 자료인 전부하상당시간 438 h^[5]를 연간의 에너지사용량 및 운전비 계산에 이용했다.

5.2 연간 에너지사용량

Table 4와 Table 5에 지하철배열 이용 시스템과 일반시스템에서의 에너지사용량 산정과정을 나타낸다. Table 5에서 흡수식냉온수기의 가스사용량은 도시가스의 저발열량을 11 kW/Nm³로 하여 산정하였다.

5.3 연간 운전비

Table 4와 Table 5에 나타난 에너지사용량에

Table 4. Energy use of waste heat utilizing system

Categories	Capacity	COP	Power requirement	Running time	Energy use (electricity)
Air source heat pump	3,610 kW	5.5	656 kW	438 h	1,588,400 kWh
Hot and chilled water pump	-	-	53 kW	438 h	27,280 kWh

Table 5. Energy use of general heat source system

Categories	Capacity	Power requirement		Running time	Energy use
		Electricity	Gas		
Absorption chiller-heater	3,610 kW	-	330 Nm ³ /h	438 h	145,200 Nm ³ /h
Pump	Hot and chilled water	-	53 kW	438 h	73,920 kWh
	Cooling water	-	115 kW		

Table 6. Criterion of electric rate

Categories	Rate	Remarks
Basic rate	6,660 won/kW	Less than 1,000 kW of contract demand
Meter rate	71.4 won/kWh	Nov. ~Feb.
	55.8 won/kWh	Mar.

Table 7. Criterion of gas rate

Rate	Remarks
794.48 won/Nm ³	Accommodation etc.

Table 8. Running cost of each system

System	Running cost during heating period			Remarks
	Electricity (1,000 won)	Gas (1,000 won)		
Waste heat utilizing system	Basic rate (five months)	25,970	-	Including VAT for electricity and gas, and electric power industry for electricity
	Meter rate	24,530		
General heat source system	Basic rate (five months)	6,150	126,890	
	Meter rate	5,280		

의거해서 시스템별 연간 운전비를 계산하게 되는데, 운전비 계산을 위한 전기 및 가스요금 산정기준을 Table 6과 Table 7에 나타낸다. 전기요금은 한국전력의 전력요금체계 중 본 시스템의 용량 및 조건에 합당한 '일반용전력(갑) 고압B 선택II'를 기준으로 하였으며, 가스요금은 서울지역 도시가스 회사의 요금체계 중 '일반용 영업용I'을 기준으로 하였다.

Table 4와 Table 5에 나타낸 에너지사용량 및 Table 6과 Table 7에 나타낸 전기요금과 가스요금 산정기준에 의거해서 계산된 시스템별 난방기간 중 운전비를 Table 8에 나타낸다.

5.4 투자비 회수기간

Table 2와 Table 3에 나타낸 두 시스템에 대한 초기투자비와, Table 8에 나타낸 두 시스템에 대한 연간 운전비에 의거해서 투자비 회수기간을 산정하면 다음과 같다. 한편, 투자비 회수기간을 산정할 때는 회수기간 중의 이자도 고려대상이라는 하나, 일반적으로는 고려하지 않으므로 본 연구에서도 생략하기로 한다.

$$P = \frac{1,826,130 - 1,033,190}{(6,150 + 5,280 + 126,890) - (25,970 + 24,530)} \approx 9\text{년}$$

투자비 회수기간으로서 약 9년이라는 기간은 경제성 면에서 매우 바람직한 결과라고 할 수는 없으나 어느 정도 의미는 있다고 할 수 있다. 더욱이 유가를 비롯한 국제 에너지가격에 관한 현재 및 미래의 실정, 그리고 신재생에너지에 관한 국가의 정책적 지원이 지하철 배열이용에도 이루어진다면 이 기간은 훨씬 단축될 것이며, 그 경우 경제성 면에서도 가치가 있을 것으로 여겨진다.

6. 결론

미활용에너지 중 하나인 지하철배열의 건물 난방 에너지원으로서의 사용 가능성에 대한 경제성 평가를 행한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 지하철배열을 이용하기 적합한 공기열원 히트펌프가 국내에서 제작되지 않아 현 상황에서 초기투자비 부담은 크다.
- (2) 전기 및 가스요금에 관한 현재의 기준으로 운전비 산정을 할 경우 본 시스템의 운전비는 일반적인 열원시스템에 비해 상당히 경감된다.
- (3) 두 시스템에 관한 초기투자비와 연간 운전비에 의거해서 산정한 투자비 회수기간은 약 9년이었다.
- (4) 유가를 비롯한 국제 에너지가격에 관한 현재 및 미래의 실정, 그리고 신재생에너지에 관한 국가의 정책적 지원이 지하철배열에도 이루어진다면 투자비 회수기간은 단축될 것이며, 그 경우 경제성 면에서 더욱 유리해진다.

후 기

이 논문은 2010학년도 세명대학교 교내학술연

구비 지원에 의해 수행된 연구임.

참고문헌

1. 김종렬, 금종수, 최광환, 윤정인, 박준택, 김동규, 김보철, 정용현, 1998, 미활용 에너지원으로서의 지하철 배열이용에 관한 연구, 공기조화·냉동공학 논문집, 10권6호, pp.695-701
2. 김종렬, 정기철, 2000, 공기열원 히트펌프의 에너지원으로서 지하철 배열 이용에 관한 연구, 한국가스학회지, 4권4호, pp.13-19
3. 이철구, 2002, 지하철공간 열환경의 실측연구, 한국생활환경학회지, 9권1호, pp.74-78
4. (일본)공기조화위생공학회, 2001, 空氣調和衛生工學, 75권3호, pp.232
5. 일본지역냉난방협회, 2002, 地域冷煖房技術手引書, pp.47